

⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑯ Offenlegungsschrift
⑯ DE 3718888 A1

⑯ Int. Cl. 4:
C08F 110/00

C 08 F 4/64
C 08 F 10/00
C 08 F 4/02
B 01 J 31/22
// C07F 17/00

⑯ Anmelder:
Hoechst AG, 6230 Frankfurt, DE

⑯ Erfinder:
Antberg, Martin, Dr.; Lüker, Hartmut, Dr., 6238
Hofheim, DE; Böhm, Ludwig, Dr., 6234 Hattersheim,
DE

⑯ Verfahren zur Herstellung eines 1-Olefinpolymers

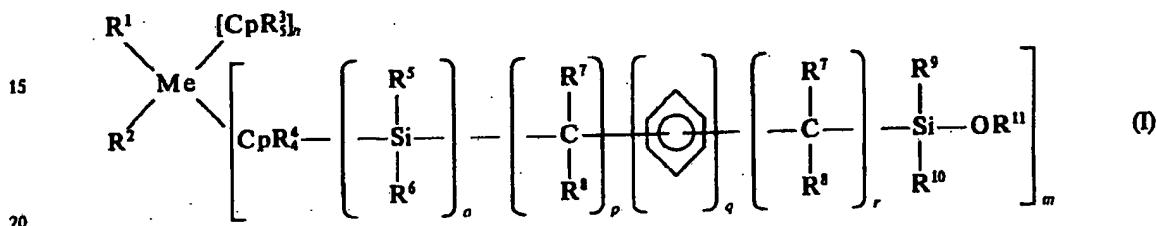
Wird als Übergangsmetallkomponente in einem Olefin-Polymerisationskatalysator das Reaktionsprodukt zwischen einem siloxan-substituierten Metallocen von Titan, Zirkonium oder Hafnium und einem hydroxylgruppenhaltigen Trägermaterial, beispielsweise Siliciumdioxid, verwendet, so lassen sich diese Metallocen-Katalysatoren in bereits bestehenden und für das Suspensionsverfahren eingerichteten Polymerisationsanlagen einsetzen.

DE 3718888 A1

DE 3718888 A1

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines 1-Olefinpolymers durch Polymerisation eines 1-Oleins der Formel R-CH=CH₂, worin R Wasserstoff oder eine geradkettige oder verzweigte Alkylgruppe mit 1 bis 12 C-Atomen ist, bei einer Temperatur von -60 bis 100°C, bei einem Druck von 0,5 bis 64 bar, in Suspension oder in der Gasphase, in Gegenwart eines Katalysators, welcher aus einer Übergangsmetallkomponente, die eine auf einem Träger befindliche Übergangsmetallverbindung darstellt, und einem Aluminoxan besteht, dadurch gekennzeichnet, daß die Polymerisation in Gegenwart eines Katalysators durchgeführt wird, dessen Übergangsmetallkomponente in der Weise hergestellt wurde, daß eine Metallocen-Verbindung der Formel I



worin

Me Titan, Zirkonium oder Hafnium ist,
 Cp den Cyclopentadienylring bedeutet,
 R¹ und R² unabhängig voneinander ein Wasserstoffatom, ein Halogenatom, eine C₁-C₄-Alkylgruppe oder eine C₆-C₁₀-Arylgruppe bedeuten,
 R³ und R⁴ unabhängig voneinander ein Wasserstoffatom, ein Halogenatom, eine C₁-C₄-Alkylgruppe, eine C₁-C₄-Alkoxygruppe, eine C₆-C₁₀-Arylgruppe oder eine C₂-C₆-Alkenoxygruppe bedeuten,
 R⁵ und R⁶ unabhängig voneinander eine C₁-C₄-Alkylgruppe, eine C₆-C₁₀-Arylgruppe oder eine C₁-C₄-Alkoxygruppe bedeuten,
 R⁷ und R⁸ unabhängig voneinander ein Wasserstoffatom, eine C₁-C₄-Alkylgruppe oder eine C₆-C₁₀-Arylgruppe bedeuten,
 R⁹ und R¹⁰ unabhängig voneinander eine C₁-C₄-Alkylgruppe, eine C₆-C₁₀-Arylgruppe oder eine C₁-C₄-Alkoxygruppe bedeuten,
 R¹¹ eine C₁-C₄-Alkylgruppe bedeutet,
 m 1 oder 2 ist,
 n 2 - m ist,
 o null oder 1 ist,
 p eine Zahl von null bis 6 ist,
 q null oder 1 ist,
 r eine Zahl von null bis 6 ist,

mit einem hydroxylgruppenhaltigen Trägermaterial umgesetzt wurde, und wobei das Aluminoxan ein solches der Formel II



für den linearen Typ und/oder der Formel (III)



für den cyclischen Typ ist, wobei in den Formeln II und III R¹² eine C₁-C₆-Alkylgruppe bedeutet und s eine ganze Zahl von 2 bis 40 ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Übergangsmetallkomponente das Reaktionsprodukt zwischen einer Metallocen-Verbindung der Formel (I), worin Me Titan oder Zirkonium ist, und einem Metallocid verwendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Übergangsmetallkomponente das Reak-

tionsprodukt zwischen einer Zirkon-Verbindung der Formel (I) und Siliciumdioxid verwendet wird.

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung eines 1-Olefinpolymers unter Verwendung eines Metallocen-Trägerkatalysators.

Metallocene von Übergangsmetallen sind als Katalysatorkomponenten bekannt (vgl. US-PS 45 22 982, US-PS 45 42 199). Zusammen mit Aluminoxanen bilden sie homogene Übergangsmetall-Katalysatoren, welche in aromatischen Kohlenwasserstoffen löslich sind. Diese Katalysatoren sind sehr aktiv. Ihre Löslichkeit ist jedoch ein Nachteil, wenn derartige Katalysatoren in bestehenden technischen Anlagen eingesetzt werden sollen, da diese in der Regel für die Verwendung von heterogenen Katalysatorsystemen eingerichtet sind. Es war daher wünschenswert, Metallocen-Katalysatoren zu finden, welche in Form einer Suspension verwendet werden können.

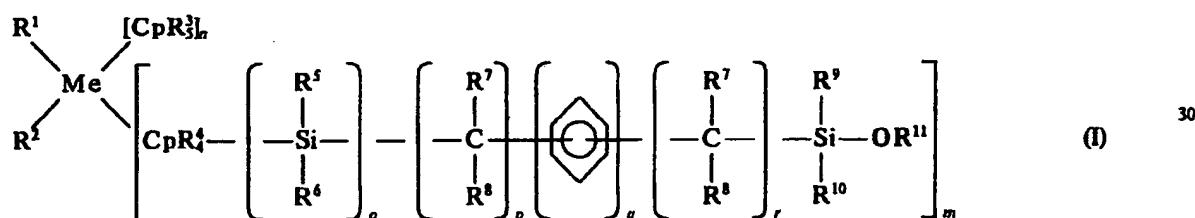
Beannt sind Metallocen-Katalysatoren, bei welchen eine Zirkonocen- oder Titanocenkomponente und ein Aluminoxan gemeinsam aus einer Lsung auf einen silikatischen Trger aufgebracht werden (vgl. Europische Anmeldungsveröffentlichung 2 06 794). Dieses Katalysatorsystem ist indessen wenig aktiv und hat den Nachteil, daß das Verhältnis Zr oder Ti zu Al während der Polymerisation nicht geändert werden kann. Außerdem sind die Katalysatorkomponenten nicht ausreichend fest auf dem Trger verankert und können somit während der Polymerisation vom heißen Suspensionsmittel extrahiert werden.

Es wurde nun gefunden, daß diese Nachteile vermieden werden können, wenn man nur die Übergangsmetallverbindung auf den Träger aufbringt, und zwar in Form eines siloxan-substituierten Metallocens.

Die Erfindung betrifft somit das in den Ansprüchen beschriebene Verfahren.

Zur Herstellung der Übergangsmetallkomponente des erfindungsgemäß zu verwendenden Katalysators wird eine Metallocen-Verbindung mit einem hydroxylgruppenhaltigen Trägermaterial umgesetzt.

Verwendet wird eine Metallocenverbindung der Formel (I)



worin

Me	Titan, Zirkonium oder Hafnium, vorzugsweise Zirkonium ist und
Cp	den Cyclopentadienylring bedeutet;
R ¹ und R ²	sind unabhängig voneinander ein Wasserstoffatom, ein Halogenatom, eine C ₁ –C ₄ -Alkylgruppe oder eine C ₆ –C ₁₀ -Arylgruppe, vorzugsweise eine Alkylgruppe oder ein Halogenatom, insbesondere ein Chloratom;
R ³ und R ⁴	bedeuten unabhängig voneinander ein Wasserstoffatom, ein Halogenatom, eine C ₁ –C ₄ -Alkylgruppe, eine C ₁ –C ₄ -Alkoxygruppe, eine C ₆ –C ₁₀ -Arylgruppe oder eine C ₂ –C ₆ -Alkenoxygruppe, vorzugsweise ein Wasserstoffatom oder Methyl, insbesondere ein Wasserstoffatom;
R ⁵ und R ⁶	sind unabhängig voneinander eine C ₁ –C ₄ -Alkylgruppe, eine C ₆ –C ₁₀ -Arylgruppe oder eine C ₁ –C ₄ -Alkoxygruppe vorzugsweise eine Alkylgruppe, insbesondere Methyl;
R ⁷ und R ⁸	sind unabhängig voneinander ein Wasserstoffatom, eine C ₁ –C ₄ -Alkylgruppe oder eine C ₆ –C ₁₀ -Arylgruppe, vorzugsweise eine Alkylgruppe oder ein Wasserstoffatom, insbesondere ein Wasserstoffatom;
R ⁹ und R ¹⁰	bedeuten unabhängig voneinander eine C ₁ –C ₄ -Alkylgruppe, eine C ₆ –C ₁₀ -Arylgruppe oder eine C ₁ –C ₄ -Alkoxygruppe, vorzugsweise eine Alkylgruppe, insbesondere Methyl;
R ¹¹	ist eine C ₁ –C ₄ -Alkylgruppe, vorzugsweise Ethyl;
m	bedeutet 1 oder 2, vorzugsweise 1,
n	ist 2 – m,
o	ist null oder 1, vorzugsweise 1,
p	ist eine Zahl von null bis 6, vorzugsweise 1,
q	ist null oder 1, vorzugsweise null, und
r	ist eine Zahl von null bis 6, vorzugsweise 1.

Beispiele für geeignete Metallocenverbindungen in der Formel (I) sind

1. $\text{Cl}_2\text{Zr} \left[\text{C}_6\text{H}_4-\text{Si}(\text{CH}_3)_2-\text{OC}_2\text{H}_5 \right]_2$

5

2. $\text{Cl}_2\text{Zr} \left[\text{C}_6\text{H}_4 \right] \left[\text{C}_6\text{H}_4-\text{Si}(\text{CH}_3)_2-\text{OC}_2\text{H}_5 \right]$

10

3. $\text{Cl}_2\text{Zr} \left[\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_2 \right]_2$

15

4. $\text{Cl}_2\text{Zr} \left[\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2\text{Si}(\text{CH}_3)_2(\text{O}-\text{i-C}_3\text{H}_7)_2 \right]_2$

20

5. $\text{Cl}_2\text{Zr} \left[\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\text{Si}(\text{CH}_3)_2-\text{O}-\text{i-C}_3\text{H}_7 \right]_2$

25

30

6. $\text{Cl}_2\text{Zr} \left[\text{C}_6\text{H}_4-\text{Si}(\text{t-C}_4\text{H}_9)_2-\text{OC}_2\text{H}_5 \right]_2$

35

7. $\text{Cl}_2\text{Zr} \left[\text{C}_6\text{H}_4-\text{Si}(\text{C}_6\text{H}_5)_2-\text{OC}_2\text{H}_5 \right]_2$

40

8. $\text{Cl}_2\text{Zr} \left[\text{C}_6\text{H}_4-\text{Si}(\text{C}_2\text{H}_5)_2-\text{OC}_2\text{H}_5 \right]_2$

45

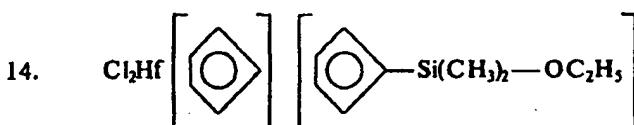
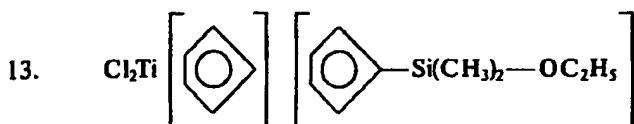
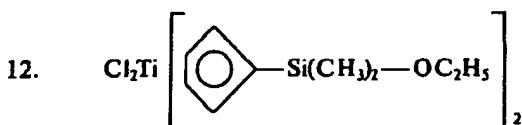
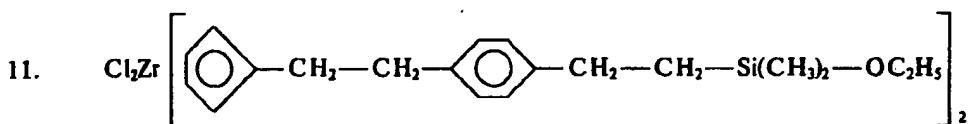
9. $\text{Cl}_2\text{Zr} \left[\text{C}_6\text{H}_4-\text{Si}(\text{CH}_3)_2-(\text{CH}_2)_6-\text{Si}(\text{CH}_3)_2-\text{OC}_2\text{H}_5 \right]_2$

50

10. $\text{Cl}_2\text{Zr} \left[\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2\text{Si}(\text{CH}_3)_2-\text{OC}_2\text{H}_5 \right]_2$

55

60



25
Bevorzugt sind von diesen Verbindungen die Verbindungen Nr. 1, 2, 3 und 4, insbesondere Nr. 2. Verbindungen dieser Art sind beschrieben in

I. B. L. Booth, G. C. Ofume, C. Stacey und P. J. T. Tait in J. Organomet. Chem. 315 (1986), S. 143–156, R. Jackson, J. Ruddlesden, D. J. Thomson und R. Whelan in J. Organomet. Chem. 125 (1977), S. 57–62. 30

Geeignete Trägermaterialien sind anorganische Oxide, Carbonate wie Kreide, Silikate wie Talk und Polymere mit Hydroxylgruppen an der Oberfläche. Besonders geeignete Träger sind poröse Oxide oder Mischoxide des Siliciums und/oder Aluminiums, die eine spezifische Oberfläche von 50 bis 1000 m^2/g , vorzugsweise von 100 bis 800, insbesondere von 150 bis 650, aufweisen und deren Porenvolumen im Bereich von 0,2 bis 3, vorzugsweise 0,4 bis 3, insbesondere von 0,6 bis 2,7 cm^3/g , liegt. Die Teilchengröße beträgt 1 bis 500 μm , vorzugsweise 10 bis 200 μm , insbesondere 20 bis 100 μm . Die Hydroxylgruppenzahl liegt, je nach der spezifischen Oberfläche und der Temperaturvorbehandlung im Bereich von 0,5 bis 50 mmol, vorzugsweise von 1 bis 20, insbesondere von 1,5 bis 10 Hydroxylgruppen pro Gramm Träger. Solche Oxide werden teilweise speziell im Hinblick auf eine Verwendung als Träger für Trägerkatalysatoren hergestellt und sind im Handel erhältlich. 35

Vor der Umsetzung des Trägers mit der Metallocen-Verbindung muß durch Trocknen bei einer Temperatur von 120 bis 800°C, vorzugsweise 200 bis 500°C, adsorptiv gebundenes Wasser entfernt werden, was 1 bis 10 Stunden dauern kann. Die Trocknung wird durch Titration des OH-Gehaltes des Trägermaterials mit n-Butylmagnesiumchlorid analytisch verfolgt. Nach der Trocknung wird der Träger unter Luft- und Wasserausschluß unter einem Inertgas, beispielsweise Stickstoff oder Argon, gelagert. 40

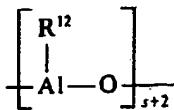
Die Umsetzung des Trägers mit der Metallocen-Verbindung erfolgt in der Weise, daß man den Träger in dem inerten Lösungsmittel suspendiert, die gelöste Metallocen-Verbindung bei einer Temperatur von 0 bis 40°C, vorzugsweise 15 bis 25, 1 bis 1260 min, vorzugsweise 20 bis 180 min einwirken läßt. Das Verhältnis von Metallocen-Verbindung zu Träger wird in Abhängigkeit vom Hydroxylgruppengehalt so gewählt, daß 10 bis 400, vorzugsweise 200 bis 250 mmol Metallocen-Verbindung pro 100 Gramm Träger eingesetzt werden. 45

Als Lösungsmittel eignen sich alle für die Olefin-Polymerisation verwendbaren Lösungsmittel, so z. B. aliphatische oder cycloaliphatische Kohlenwasserstoffe, beispielsweise Pentan, Hexan, Heptan, Cyclohexan, Methylcyclohexan, aromatische Kohlenwasserstoffe wie Benzol, Toluol, Xylol oder Benzin- bzw. hydrierte Dieselölfraktionen, welche sorgfältig von Sauerstoff, Schwefelverbindungen und Feuchtigkeit befreit worden sind. Bevorzugt werden aliphatische und cycloaliphatische Kohlenwasserstoffe verwendet. 50

Die zweite Komponente des erfahrungsgemäßen Katalysators ist ein Aluminoxan der Formel (II) 55



für den linearen Typ und/oder der Formel (III)



(III)

5

für den cyclischen Typ. In diesen Formeln bedeuten R^{12} eine $\text{C}_1\text{--C}_6$ -Alkylgruppe, vorzugsweise Methyl, Ethyl oder Isobutyl, insbesondere Methyl, und s eine ganze Zahl von 2 bis 40, bevorzugt 10 bis 20.

Das Aluminoxan kann auf verschiedene Art und Weise hergestellt werden.

Bei einem der Verfahren wird fein gepulvertes Kupfersulfat-pentahydrat in Toluol aufgeschlämmt und in einem Glaskolben unter Inertgas bei etwa -20°C mit soviel Aluminiumtrialkyl versetzt, daß für je 4 Al-Atome etwa 1 Mol $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ zur Verfügung steht. Nach langsamer Hydrolyse unter Alkan-Abspaltung wird die Reaktionsmischung 24 bis 48 Stunden bei Zimmertemperatur belassen, wobei gegebenenfalls gekühlt werden muß, damit die Temperatur nicht über 30°C ansteigt. Anschließend wird das im Toluol gelöste Aluminoxan von dem Kupfersulfat abfiltriert und das Toluol unter Vakuum abdestilliert. Es wird angenommen, daß bei diesem Herstellungsverfahren die niedermolekularen Aluminoxane unter Abspaltung von Aluminiumtrialkyl zu höheren Oligomeren kondensieren.

Weiterhin erhält man Aluminoxane, wenn man bei einer Temperatur von -20 bis 100°C in einem inerten aliphatischen oder aromatischen Lösemittel, vorzugsweise Heptan oder Toluol, gelöstes Aluminiumtrialkyl, vorzugsweise Aluminiumtrialkyl, mit kristallwasserhaltigen Aluminiumsalzen, vorzugsweise Aluminiumsulfat, zur Reaktion bringt. Dabei beträgt das Volumenverhältnis zwischen Lösungsmittel und dem verwendeten Aluminiumalkyl 1 : 1 bis 50 : 1 — vorzugsweise 5 : 1 — und die Reaktionszeit, die durch Abspaltung des Alkans kontrolliert werden kann, 1 bis 200 Stunden — vorzugsweise 10 bis 40 Stunden.

Von den kristallwasserhaltigen Aluminiumsalzen werden insbesondere jene verwendet, die einen hohen Gehalt an Kristallwasser aufweisen. Besonders bevorzugt ist Aluminiumsulfat-Hydrat, vor allem die Verbindungen $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ und $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ mit dem besonders hohen Kristallwassergehalt von 16 bzw. 18 Mol H_2O /Mol $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Der erfindungsgemäß zu verwendende Katalysator wird zur Polymerisation von 1-Olefinen der Formel $\text{R}-\text{CH}=\text{CH}_2$, in der R Wasserstoff oder einen geradkettigen oder verzweigten Alkylrest mit 1 bis 12 C-Atomen, vorzugsweise 1 bis 6 C-Atomen, eingesetzt, beispielsweise Ethylen, Propylen, Buten-(1), Hexen-(1), 4-Methylpenten-(1), Octen-(1). Besonders bevorzugt sind Ethylen und Propylen.

Die Polymerisation wird in bekannter Weise in Suspension oder in der Gasphase, kontinuierlich oder diskontinuierlich, ein- oder mehrstufig bei einer Temperatur von 0 bis 100°C , vorzugsweise 70 bis 90°C , durchgeführt. Der Druck beträgt 0,5 bis 64 bar. Bevorzugt ist die Polymerisation in dem technisch besonders interessanten Druckbereich von 5 bis 64 bar.

Dabei wird die Übergangsmetallkomponente in einer Konzentration, bezogen auf das Übergangsmetall, von 10^{-3} bis 10^{-6} , vorzugsweise 10^{-4} bis 10^{-6} mol Ti, Zr oder Hf pro Liter Lösemittel bzw. pro Liter Reaktorvolumen angewendet. Das Aluminoxan wird in einer Konzentration von 10^{-4} bis 10^{-1} , vorzugsweise 10^{-3} bis $2 \cdot 10^{-2}$ mol pro Liter Lösemittel bzw. pro Liter Reaktorvolumen verwendet, bezogen auf den Gehalt an Aluminium. Prinzipiell sind aber auch höhere Konzentrationen möglich.

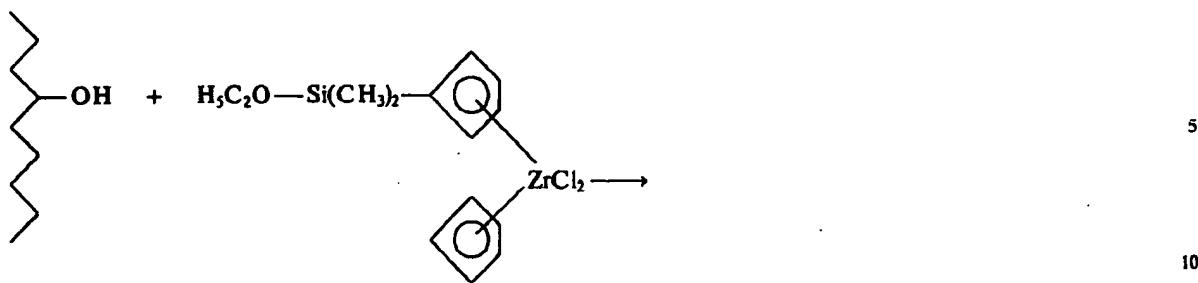
Die Polymerisation wird in einem für das Ziegler-Niederdruckverfahren gebräuchlichen inerten Lösemittel durchgeführt, beispielsweise in einem aliphatischen oder cycloaliphatischen Kohlenwasserstoff; als solcher sei beispielsweise Butan, Pentan, Hexan, Heptan, Isooctan, Cyclohexan, Methylcyclohexan genannt. Weiterhin kann eine Benzin- bzw. hydrierte Dieselölfraction, die sorgfältig von Sauerstoff, Schwefelverbindungen und Feuchtigkeit befreit worden ist, benutzt werden. Brauchbar ist auch Toluol. Schließlich kann auch das zu polymerisierende Monomere als Lösemittel oder Suspensionsmittel eingesetzt werden. Das Molekulargewicht des Polymeren kann in bekannter Weise geregelt werden; vorzugsweise wird dazu Wasserstoff verwendet.

Der erfindungsgemäß zu verwendende Katalysator zeichnet sich dadurch aus, daß die Übergangsmetallverbindung fest mit dem Trägermaterial verbunden ist. Es konnte nachgewiesen werden, daß bei der Umsetzung der Metallocen-Verbindung mit dem Trägermaterial Alkohol gebildet wird, beispielsweise nach folgenden Schema:

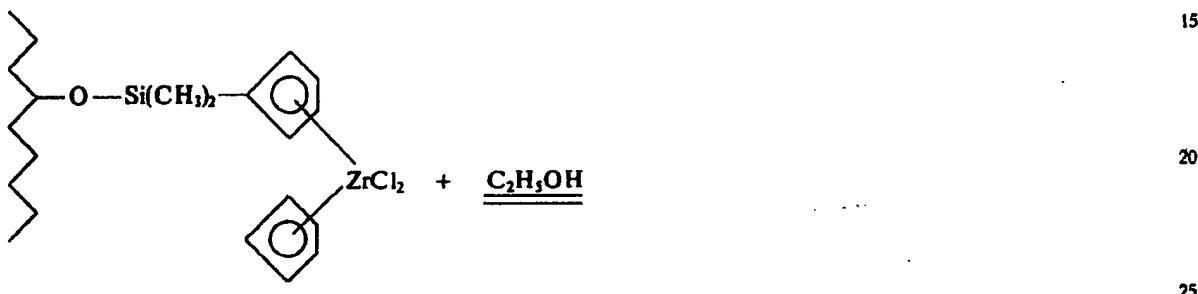
55

60

65



Trägeroberfläche



Mit Hilfe des erfindungsgemäß zu verwendenden Katalysators werden außerordentlich hohe Ausbeuten erzielt.

Die nachfolgenden Beispiele sollen die Erfindung erläutern.

30

Beispiel 1

(Herstellung eines bevorzugten Metallocens)

35

Cyclopentadienyl[(dimethylethoxysilyl)cyclopentadienyl]-zirkoniumdichlorid

9,36 g (45,35 mmol) Kaliumdimethylethoxysilylcyclopentadienid in 30 cm³ Tetrahydrofuran wurden bei -50°C zu einer Suspension von 11,3 g (43,02 mmol) Cyclopentadienylzirkoniumtrichlorid in 100 cm³ Tetrahydrofuran innerhalb von 1 h zugetropft. Nach 2 h Röhren bei -20°C wurde der Ansatz auf Raumtemperatur erwärmt und über Nacht weitergerührt. Der Ansatz wurde filtriert, das Filtrat eingedampft und der Rückstand mit Pentan extrahiert. Aus dem filtrierten und eingeengten Pentan-Extrakt kristallisierten beim Abkühlen weiße Nadeln aus, welche abgetrennt, mit kaltem Pentan gewaschen und im Vakuum getrocknet wurden.

40

Ausbeute 3,75 g (7,55 mmol = 34% Th.);

Elementaranalyse und ¹H-NMR-Spektrum standen im Einklang mit der oben angegebenen Struktur.

45

Beispiel 2

5,47 g Siliciumdioxid (0,88 mmol OH-Gruppen/g) wurden in 30 cm³ Toluol suspendiert. Innerhalb von 15 min wurden bei 0°C 0,9 g (2,28 mmol) Cl₂Zr(C₅H₅)(C₅H₄-Si(CH₃)₂-OC₂H₅), gelöst in 20 ml Toluol, zugegeben. Nachdem der Ansatz sich auf Raumtemperatur erwärmt hatte, wurde er noch weitere 14 h gerührt. Der Feststoff wurde abgetrennt, dreimal mit je 20 cm³ Diethylether gewaschen und im Vakuum getrocknet. Zur Entfernung nicht chemisch gebundenen Metallocens wurde der Feststoff 24 h im Soxhlet mit Benzol extrahiert und anschließend im Hochvakuum getrocknet. Zr-Gehalt 2,7 Gew.-%.

55

Beispiel 3

In einem 1 dm³ Polymerisationsreaktor wurden 750 cm³ einer Dieselölfraction (Kp 100 bis 120°C) vorgelegt und auf 70°C geheizt. Der Reaktor wurde mit 6,4 cm³ einer Methylaluminiumoxanlösung, die 0,22 mmol Aluminium enthielt, und mit 67 mg (0,02 mmol Zr) der Übergangsmetallkomponente aus Beispiel 2 in 10 cm³ Lösemittel beschickt. Dann wurde Ethylen bis zu einem Enddruck von 7 bar eingeleitet und 1 Stunde polymerisiert. Man erhielt 60,6 g Polyethylen entsprechend 3,05 kg/mmol Zr · h. Das erhaltene Produkt war durch folgende Daten gekennzeichnet:

60

MFI 190/21,6	0,09 g/10 min
VZ	600 cm ³ /g
Dichte	0,946 g/cm ³

65

Beispiel 4

Es wurde gearbeitet wie in Beispiel 3, nur betrug die Einsatzmenge der Übergangsmetallkomponente j tzt 0,01 mmol, bezogen auf Zirkon.

5	Ausbeute	42 g
	MFI 190/21,6	0,09 g/10 min
	VZ	600 cm ³ /g
	Dichte	0,946 g/cm ³
10	KA	4,2 kg/mmol

Beispiel 5

Es wurde gearbeitet wie in Beispiel 3, nur wurden nach Zugabe der Katalysatorkomponenten 9,8 cm³ 1-Buten (106 mmol) in den Reaktor eingeführt und anschließend der Ethyldruck wieder auf 7 bar eingestellt.

15	Ausbeute	36 g
	MFI 190/21,6	0,15 g/10 min
	VZ	400 cm ³ /g
20	Dichte	0,942 g/cm ³
	KA	1,8 kg/mmol

Vergleichsbeispiel A

25 Aus den Angaben in EP 2 06 794 (Beispiel 1) wurde die Ausbeute berechnet, welche deutlich unter dem Niveau der erfundungsgemäßen Beispiele liegt.

30	Zirkoniumkonzentration (mmol)	0,034
	Aluminiumkonzentration (mmol Al)	0,83
	Aluminium/Zirkonium (mol : mol)	24,4
	Ethyldruck (bar)	13,8
	Temperatur (°C)	85
	Ausbeute (kg)	0,0123
	Kontaktausbeute (kg/mmol Zr)	0,36

Beispiel 6

Es wurde gearbeitet wie in Beispiel 3, jedoch wurde anstelle der Zr-Übergangsmetallkomponente die analoge Ti-Komponente in einer Menge von 40 mg (0,02 mmol Ti) eingesetzt. Der Ti-Gehalt der Komponente betrug 2,4 Gew.-%.

45	Ausbeute	28 g PE entsprechend einer Kontaktausbeute von 1,4 kg PE/mmol Ti
	MFI 190°C/21,6	0,07 g/10 min
	Viskositätszahl	720 cm ³ /g
	Dichte	0,948 g/cm ³

Beispiel 7

50 Es wurde gearbeitet wie in Beispiel 3, jedoch wurde anstelle der Zr-Übergangsmetallkomponente die analoge Hf-Komponente in einer Menge von 137 mg (0,02 mmol Hf) eingesetzt. Der Hf-Gehalt der Komponente betrug 2,6 Gew.-%.

55	Ausbeute	12 g PE entsprechend einer Kontaktausbeute von 0,6 kg PE/mmol Hf
	MFI 190°C/21,6	0,06 g/10 min
	Viskositätszahl	810 cm ³ /g
	Dichte	0,947 g/cm ³